

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА СПОРУДЖЕННЯ ТРУБОПРОВІДІВ

Я.В. Дорошенко, Ю.І. Дорошенко, С.І. Тихонов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: snp@nimg.edu.ua

Проведено аналіз можливостей сучасних програмних комплексів комп'ютерного моделювання. Розглянуто проблеми та задачі трубопровідного транспорту, які можна вирішити з допомогою програмних комплексів комп'ютерного моделювання, обґрунтовано необхідність широкого їх використання при проектуванні, спорудженні та експлуатації трубопроводів.

Ключові слова: проектування трубопроводів, спорудження трубопроводів, програмний комплекс, комп'ютерне моделювання, напружено-деформований стан, тривимірні потоки

Проведен анализ возможностей современных программных комплексов компьютерного моделирования. Рассмотрены проблемы и задачи трубопроводного транспорта, которые можно решить с помощью программных комплексов компьютерного моделирования, обоснована необходимость широкого их использования при проектировании, сооружении и эксплуатации трубопроводов.

Ключевые слова: проектирование трубопроводов, сооружение трубопроводов, программный комплекс, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние, трехмерные потоки

It was carried out the analysis possibilities modern programmatic complexes of computer design. Problems and tasks of pipeline transport, which it is possible to decide by the programmatic complexes of computer design, are considered, the necessity of wide their use at planning, building and exploitation of pipelines is grounded

Key words: planning pipelines, construction pipelines, programmatic complex, computer design, tense-deformed being, three-dimensional flow.

Як відомо, підвищення якості та скорочення термінів проектування і спорудження трубопроводів є одним з найважливіших напрямів прискорення науково-технічного прогресу в трубопровідному транспорті. Поняття «якість проектування і спорудження трубопроводів» є надзвичайно широким, але головною його складовою є рівень прийнятих технічних рішень та всесторонність інженерного аналізу. В свою чергу, інженерний аналіз в трубопровідному транспорті включає весь комплекс необхідних розрахунків для отримання інформації про міцність, стійкість, довговічність, а також розрахунків частот власних коливань, динамічних характеристик в умовах дії силових чинників. Також потрібно розв'язувати гідрогазодинамічні та теплові задачі. Крім того, на якість проектування не повинно впливати скорочення термінів проектування.

Донедавна основним методом перевірки правильності розрахунків були масштабні експериментальні дослідження. Однак, при усіх своїх перевагах вони вимагають значних фінансових та часових затрат, що не відповідає вимогам сучасності.

Одним із перспективних напрямів розв'язання таких задач в найкоротші терміни є широке застосування сучасних програмних комплексів комп'ютерного моделювання, які дають змогу здійснити як окремий розрахунок, так і вирішити завдання в комплексі: розрахувати і проаналізувати конструкцію ще до її виготовлення, скоротивши тим самим процес її доведення в реальних умовах.

В Україні процес широкого використання програмних комплексів комп'ютерного моделювання затягнувся і зараз перебуває на початковій стадії свого розвитку. Причин, що пояснюють таке відставання, багато, але одними з головних, на наш погляд, є брак на українському ринку вітчизняного професійно орієнтованого програмного забезпечення відповідного напрямку. Зарубіжні програмні комплекси достатньо дорогі, мають англійський інтерфейс та англійські, насичені спеціалізованими термінами, супровідні документи та навчальні посібники. Такі програмні комплекси наукомісткі і вимагають знань та навичок не тільки програмування та тривимірного моделювання, але і математичного моделювання, числових методів, теорії міцності, стійкості, гідрогазодинаміки, теплопередачі тощо.

Програмні комплекси комп'ютерного моделювання допоможуть перейняти прогресивний світовий досвід, вирішити низку наявних проблем, а саме:

- прискорити оперативність проектування, що буде одним із стимулів для зниження витрат і впровадження в нафтогазотранспортних підприємствах нової техніки і технологій, а також прискорити розробку нової нормативно-технічної документації, яка встановлює вимоги до спорудження трубопроводів, зменшує формалізм в питаннях узгодження та затвердження проектів;

- гармонізувати українську систему технічного регулювання з міжнародною. Об'єкти в Україні мають низьку інвестиційну привабли-

вість для зовнішніх інвесторів. Використання спеціального програмного забезпечення, яке відповідає європейським нормам, підвищить цю привабливість;

- проектувати згідно з нормами Західної Європи, Північної Америки, Азії, Сходу тощо. Це, за відсутності досвіду застосування різних норм проектування, прийнятих в інших країнах (ISO, ANSI, ASTM, DIN), стане додатковим інструментом, що дасть змогу з різних сторін оцінити ухвалене проектне рішення;

- застосовувати в проектах марки сталей підвищеної міцності і корозійної стійкості та використовувати європейський сортамент сталей;

- швидко модифікувати існуючі конструкції, конструктивні схеми прокладання трубопроводів та коригувати їх під конкретну технологію монтажу;

- проектувати конструкції оптимальних геометричних розмірів.

На сьогодні існують десятки програмних комплексів, побудованих на різних математичних моделях, які дозволяють проводити аналіз різних фізичних процесів у тій або іншій постановці. В одних можна створювати тривимірні моделі проектуваного об'єкта, а інші вимагають імпортування таких моделей з інших програм. Тому проблема вибору оптимального програмного комплексу є достатньо складною і вимагає перед придбанням вивчення та всестороннього аналізу його можливостей, а також розгляду особливостей застосування конкретного програмного продукту.

Програмні комплекси комп'ютерного моделювання можна поділити на:

- програмні комплекси, які дають змогу здійснювати аналіз напружено-деформованого стану конструкцій, розв'язувати задачі теплопередачі;

- програмні комплекси моделювання тривимірних потоків рідин та газів;

- програмні комплекси, які забезпечують можливість проведення багатодисциплінарних розрахунків: здійснювати одночасний аналіз рівнянь з різних напрямів (міцність, гідрогазодинаміка, теплопровідність, електромагнетизм тощо);

- спеціалізовані програми.

До програмних комплексів, які дають змогу здійснювати аналіз напружено-деформованого стану конструкцій методом скінчених елементів, розв'язувати задачі теплопередачі, відносяться MSC.NASTRAN, NEiNastran, SolidWorks, ABAQUS, SolidEdge, CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application), Autodesk Inventor Professional, Unigraphics NX.

Відповідно до алгоритму обчислювальної технології повний цикл аналізу конструкції складається з таких основних етапів:

- розроблення геометрії конструкції – тривимірне геометричне моделювання (тривимірні геометричні моделі можна створювати в CAD-пакеті програмного комплексу або імпортувати з інших CAD-програм чи програмних комплексів);

- задавання характеристик матеріалів елементам конструкції;

- вибір типів скінчених елементів і введення їх параметрів;

- розбиття конструкції на скінчені елементи;
- задання граничних умов – зв'язків, які накладаються на конструкцію;

- формування системи навантажень, задання їх значень або функціональних залежностей;

- перевірка коректності розробленої моделі;

- розрахунок конструкції – скінчено-елементний аналіз;

- аналіз результатів розрахунків, формування їх представлення.

Кожний програмний комплекс містить CAD-пакет для створення тривимірної геометричної моделі, препроцесор для розбиття конструкції на скінчені елементи і задання граничних умов, аналізатор для проведення розрахунків і постпроцесор для відображення результатів розрахунку [1].

Такі програмні комплекси дають змогу проводити аналіз напружено-деформованого стану конструкції в цілому і окремих її елементів, зокрема, розраховувати деформації від дії статичних та динамічних навантажень, розв'язувати задачі теплопередачі. Результатами розрахунків є тривимірні кольорові епюри розподілу максимальних еквівалентних напружень, деформацій, температури, відповідно до шкали значень, на контурах конструкції розрахованих за гіпотезою енергії формозміни Фон Мізеса. Також існує можливість перегляду наведених значень в перерізах конструкції та анімацій деформацій конструкцій, що дає змогу одержати повне уявлення про реакцію конструкції на діючі навантаження, розповсюдження температури.

За допомогою наведених програмних комплексів можна проводити аналіз напружено-деформованого стану і оцінювати міцність лінійної частини трубопроводів, технологічного обладнання, опорних конструкцій надземних переходів з урахуванням дії внутрішнього тиску, власної ваги трубопровідної конструкції і транспортованого середовища. Такий аналіз дає змогу проектувати трубопровідні конструкції з запасом міцності, необхідним для безаварійної їх роботи. Програмні комплекси дозволяють розраховувати напруження у стінці труби, що виникають під час спорудження трубопроводів, що дає змогу розробляти оптимальні схеми укладання трубопроводів, спорудження переходів через природні та штучні перешкоди, визначати оптимальні віддалі між машинами і механізмами та підбирати їх марки.

До програмних комплексів математичного моделювання тривимірних потоків рідин та газів відносяться ANSYS CFX, Flow Vision, Flow3D, SolidWorks.

За допомогою наведених програмних комплексів проводять моделювання тривимірних потоків рідин та газів методом скінчених об'ємів шляхом розв'язку рівняння Нав'є-Стокса. Відповідно до алгоритму обчислювальної технології повний цикл моделювання тривимірних

потоків рідин та газів складається з таких основних етапів:

- розроблення тривимірної геометричної розрахункової моделі (тривимірні геометричні моделі в програмних комплексах Flow Vision, Flow3D не створюються їй потрібно імпортувати з інших програмних комплексів (ANSYS, MSC.NASTRAN, NEiNastran, ABAQUS, CATIA, SolidWorks));

- задання математичної моделі руху рідини та газу (ламінальний нестисливий потік, турбулентний нестисливий потік, турбулентний слабкостисливий потік, турбулентний стисливий потік, пористе середовище, двофазний потік, горіння, двофазне горіння, радіаційне тепlopереенесення, двофазний потік з частинками, рухоме тіло);

- задання досліджуваної речовини, яка вибирається з бази речовин:

- створення граничних умов (стінка, вхід, вихід, вільний вихід, симетрія);

- розкладання граничних умов на гранях імпортованої тривимірної геометричної моделі;

- задання моделі турбулентності (стандартна k-ε модель, квадратична k-ε модель, низькорейнольдсова k-ε модель AKN, низькорейнольдсова k-ε модель HL, низькорейнольдсова k-ε модель LS, SST (Shear Stress Transport), SA (Spalart-Allmaras));

- задання вихідної розрахункової сітки та критеріїв її адаптації;

- розрахунок – скінчено-об'ємний аналіз;

- аналіз результатів розрахунків, формування їх представлення.

Результати розрахунку візуалізуються в постпроцесорі методами комп'ютерної графіки (ізолінії, тонова заливка, різноманітні графіки (двовимірний графік, графік вздовж кривої, графік вздовж кола), вектори, ізоповерхні. Їх можна переглянути в будь-якому перерізі тривимірної геометричної моделі. Перегляд може здійснюватися як під час розрахунку, так і після його закінчення.

Результатами моделювання руху рідини або газу є розподіл швидкості, тиску та інших фізичних параметрів.

Такі програмні комплекси дають змогу моделювати стаціонарні та нестаціонарні, багатофазні, стисливі, слабкостисливі і нестисливі потоки рідин та газів. Застосування різних моделей турбулентності та адаптивної розрахункової сітки дає змогу моделювати складні потоки, потоки з сильним завихренням, горінням, потоки з вільною поверхнею, потоки, які обтікають тверді тіла.

За допомогою наведених програмних комплексів можна досліджувати динаміку руху продукту трубопроводами, місцевими опорами та технологічним обладнанням з складною конфігурацією внутрішньої поверхні. За результатами досліджень можливо виявити місця вихроутворення та відриву потоку, де відбуваються значні втрати напору. Вони є базою для розроблення оптимальних конструкцій місцевих опорів та технологічного обладнання з мінімальними втратами напору.

Програмні комплекси дають змогу моделювати рух газу та нафти обладнанням, яке має обертові частини (компресори, насоси), рух засобів очищення та діагностування трубопроводами. моделювати вітрові навантаження на надземні переходи трубопроводів, горіння палива в камері згорання, розповсюдження нафти поверхнею води.

До програмних комплексів, які забезпечують можливість проведення багатодисциплінарних розрахунків, відноситься ANSYS.

ANSYS є унікальною системою, аналогів якої немає в світі. З допомогою найновішого інтегруючого середовища розрахунків ANSYS Workbench об'єднуються в одному інтерфейсі міцнісний та гідрогазодинамічний модулі. Крім того, сучасна платформа ANSYS Workbench дає змогу моделювати фізичні процеси з використанням побудованих в більшості САД-пакетах тривимірних моделей, виключаючи потребу у передаванні тривимірної моделі з однієї програми в іншу [2].

Можливості продукту ANSYS дають змогу моделювати обтікання твердих тіл та визначати напруження і деформації, зумовлені гідрогазодинамічними навантаженнями; проводити аналіз міцності конструкцій з урахуванням дії температурних потоків, контактних опорів, пружних і пластичних деформацій; перевіряти конструкції на резонанс. У зоні контактів окремих елементів конструкцій можна врахувати не тільки ефекти нелінійної деформації, але і термічного опору контакту.

З допомогою програмного комплексу ANSYS можна:

- проводити сумісне математичне моделювання нестационарного руху газу або рідини і напружено-деформованого стану конструкцій;

- моделювати рух засобів очищення та діагностування лінійною частиною трубопроводів, надземними переходами;

- проектувати надземні переходи трубопроводів з урахуванням температурних розширень трубопроводу, контакту трубопроводу з опорами;

- моделювати обтікання надземних переходів трубопроводів вітровими потоками;

- проектувати газотурбінні двигуни, на які діють значні навантаження від тиску та температури, коректно розподіляти усі навантаження, що діють на вузли.

Для моделювання зв'язку трубопроводу з оточуючим ґрунтовим середовищем в програмному комплексі ANSYS передбачено модель пружно-ідеальнопластичного матеріалу Друкера-Прагера та модель пружно-пластичного матеріалу Мора-Кулона.

Спеціалізовані програми призначені для фахівців проектних організацій, які займаються проектуванням трубопроводів, та фахівців нафтогазотранспортних підприємств. Такі програми (програмні модулі), як правило, розробляються на базі наведених вище програмних комплексів.

До таких програм можна віднести програму PipeEst, яка є модулем для програмного ком-

плексу ANSYS. Вона призначена для виявлення аварійно небезпечних ділянок трубопровідних систем і їх ранжирування за термінами ремонту або заміни. З допомогою даної програми можна визначити напружено-деформований стан трубопроводу, виявити найнавантаженіші ділянки, виділити їх межі і визначити на них розрахункові значення напружень, деформацій. [3]

Програмний продукт Verity® for ABAQUS – модуль для програмного комплексу ABAQUS, призначений для моделювання зварних швів. З допомогою даного продукту можна визначити напруження в зварних швах трубопроводів, резервуарів, моделювати зварні шви з різними дефектами.

Програмний комплекс Autodesk Inventor Professional містить модуль генерування трубопроводів Populate Route, який перетворює траєкторію трубопроводу у фізичну модель. Інструменти Autodesk Inventor Professional дозволяють швидко створювати і редагувати траєкторію прокладання трубопроводу (задаються початкова і кінцева точки та серія проміжних точок, які визначають траєкторію). Програмний комплекс може автоматично розміщувати зварні з'єднання.

Autodesk Inventor Professional містить розвинену бібліотеку арматури, елементів арматури, труб, що відповідають стандартам ISO, ANSI, DIN і JIS. Є можливість додати або змінити властивості існуючих компонентів бібліотеки.

В програмному комплексі Autodesk Inventor Professional можна швидко створювати та розкладати криві холодного та гарячого гнуття шляхом задання їх радіуса, автоматично розкладати арматуру. Для здійснення цього в Autodesk Inventor можна обумовити правила проектування, що гарантує відповідність проєктованих трубопроводів цим правилам. Правила проектування дають змогу задати арматуру, яка буде використовуватись під час автоматичного і ручного трасування труб, максимальні відстані між арматурою, мінімальний радіус кривих пружного згину та кривих примусового гнуття.

Розроблені проєктною організацією в програмних комплексах тривимірні моделі проєктованих об'єктів із заданими навантаженнями, граничними умовами та результати аналізу разом з проєктною документацією повинні передаватись замовнику (газотранспортним підприємствам) і впроваджуватись в повсякденну практику фахівців, які відповідають за технічний стан і безпеку експлуатації трубопровідних систем. Фахівці газотранспортних підприємств за результатами технічної діагностики реального стану трубопровідної системи можуть коригувати отримані тривимірні моделі трубопровідних систем (додавати тривимірні моделі дефектів), змінювати навантаження, що дасть змогу оцінювати реальну міцність трубопровідних конструкцій з урахуванням впливу всіх діючих експлуатаційних навантажень та даних технічної діагностики, визначити розрахункове значення руйнівного тиску. Застосування даних

процедур істотно знижує час, необхідний для аналізу ділянок трубопроводу та виключає можливі помилки користувача, дає змогу проводити аналіз ефективності і можливих негативних наслідків ремонтних робіт.

Розглянуті програмні комплекси необхідно включати в навчальні плани студентів, застосовувати під час практичних, лабораторних робіт, у курсовому та дипломному проєктуванні.

Література

1 Твердотельное моделирование при проектировании опасных производственных объектов [Текст] / [М.М. Закиричичная, Р.А. Зарипов, Е.И. Иванова и др.] // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сб. науч. ст. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – №17. – С. 24-26.

2 Чернов А. Использование технологии ANSYS Workbench для генерации конечно-элементных сеток [Текст] / А.Н.Чернов, М.Е.Плькин // САПР и графика. – 2005. – № 1. – С. 32-35.

3 Методы оценки состояния трубопроводов по результатам диагностики [Текст] / А.Д. Седых, Е.В. Дедиков, А.И. Гриценко [и др.] // Газовая промышленность. – 1998. – № 8. – С. 58-60.

*Стаття постуила в редакційну колегію
30.03.10*

*Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом*